

Productividad y estabilidad de variedades de maíz de polinización libre en Valles Altos de México

Enrique I. Canales Islas¹
Consuelo López López²
Alejandro Espinosa Calderón^{2*}
Margarita Tadeo Robledo³
Antonio Turrent Fernández⁴
Benjamín Zamudio González⁴

1 Campo Experimental Santiago Ixcuintla-INIFAP. Carretera Internacional México-Nogales km 6, Entronque a Santiago Ixcuintla, Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. CP. 63300. (enrique1784@yahoo.com.mx).

2 Secretaria Ejecutiva de la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados. Insurgentes Sur 1582, Col. Crédito Constructor, Benito Juárez, Ciudad de México. CP. 03940. (lopez8con@gmail.com, espinoale@yahoo.com.mx).

3 Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. Teoloyucan km 2.5, San Sebastián Xhala, Cuautitlán Izcalli, Estado de México. CP. 54714. (tadeorobledo@yahoo.com).

4 Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. CP. 56250. (aturrent37@yahoo.com.mx; bzamudiog@yahoo.com.mx).

Autor para correspondencia: espinoale@yahoo.com.mx.

Resumen

En los Valles Altos del Centro de México, son necesarias variedades mejoradas de maíz de grano blanco y de polinización libre, para condiciones de mediana productividad. El objetivo de esta investigación fue determinar la capacidad productiva, así como la estabilidad del rendimiento de grano con el procedimiento AMMI, de un grupo de variedades de maíz de polinización libre. Se evaluaron nueve variedades de raza cónica de maíz de ciclo intermedio, cuatro experimentales de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la Universidad Nacional Autónoma de México, dos experimentales de Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Valle de México y tres variedades comerciales testigo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Valle de México, en el ciclo primavera-verano de 2016 a 2019, en dos localidades, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la Universidad Nacional Autónoma de México e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Valle de México. Se usó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los datos de rendimiento y otras variables se analizaron en forma factorial, considerando ambientes, genotipos y sus interacciones como fuentes de variación. Se usó el procedimiento AMMI para evaluar a las variedades por su estabilidad en el rendimiento de grano. El análisis de varianza combinado detectó diferencias altamente significativas para todas las variables entre ambientes, entre genotipos, así como en la interacción genotipo por ambiente. La media general de rendimiento fue de 5 090 kg ha⁻¹. En la comparación de medias entre ambientes, la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la Universidad Nacional Autónoma de México, en 2017 tuvo el mejor rendimiento, con 9163 kg ha⁻¹. La variedad Maíz Textotli Puma expresó el mejor rendimiento con 6 491 kg ha⁻¹. Las variedades de maíz de polinización libre con mejor estabilidad en el rendimiento de grano fueron la V 80 Turrent y la V 23 Huamantla.

Palabras clave:

Zea mays L., estabilidad, productividad, variedades de polinización libre.

Introducción

En México, aun cuando se producen 27.5 millones de toneladas de maíz (SIAP, 2022), que satisfacen 13 millones de toneladas que se requieren para el consumo directo a través de la elaboración de tortillas, es necesario incrementar la producción de maíz ya que se importan más de 16 millones de toneladas de grano amarillo. Este volumen de importación, en su mayoría transgénico, se irá limitando de acuerdo con el Decreto Presidencial del 13 de febrero de 2023 (DOF, 2023).

En el país se cultivan anualmente 7.5 millones de hectáreas de maíz, con una media de producción de 3.8 t ha^{-1} (SIAP, 2022). De la superficie nacional cultivada, 1.4 millones de hectáreas se ubican en altitudes de 2 200 a 2 600 m, correspondiente a la región de los Valles Altos del Centro de México, de las cuales 1.06 millones de hectáreas se cultivan bajo condición de temporal, con lluvias que se presentan en forma tardía, limitando la fecha de siembra, la productividad del cultivo y su exposición a la incidencia de heladas tempranas. En estas condiciones, en el estado de México se siembran 404 000 ha, con una productividad de 3.7 t ha^{-1} (SIAP, 2022).

La generación de variedades mejoradas de polinización libre de maíz (PL), con adaptación a las condiciones agroclimáticas de los Valles Altos del Centro de México ha sido escasa. Por muchos años no se ha atendido la generación de este tipo de materiales. En el año 1980 se liberaron las variedades VS 22 y V 23, así como V-53 A, V-54 A y V-55 A en los años 2009, 2010 y 2011, respectivamente (Espinosa *et al.*, 2010; Espinosa *et al.*, 2011). Las variedades de maíz de PL son una opción viable debido a su precio accesible, su fácil mantenimiento y no requiere la compra de semilla cada ciclo agrícola.

El proceso para identificar y seleccionar variedades sobresalientes con características agronómicas, buen rendimiento y estabilidad, requiere su evaluación en ambientes, considerando los efectos de la interacción genotipo por ambiente (IGA). Wolde *et al.* (2018), sugieren utilizar un modelo estadístico que proporcione herramientas para identificar a los genotipos estables, como lo es el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) (Vélez-Torres *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2020).

El modelo AMMI combina las técnicas del análisis de varianza y el análisis de componentes principales (ACP). El análisis de varianza permite estudiar los efectos principales de genotipos y ambientes, en tanto que la IGA se trata de forma multivariada mediante el ACP (Zobel *et al.*, 1988). Este modelo permite identificar a los genotipos con la mejor estabilidad en función de su productividad de grano y con ello definir los genotipos adaptados a ambientes específicos.

El objetivo de esta investigación fue determinar la capacidad productiva, así como la estabilidad del rendimiento de grano de acuerdo con el análisis AMMI, de un grupo de variedades de maíz de polinización libre.

Materiales y métodos

Durante el ciclo primavera verano de los años 2016 a 2019, se evaluaron en ensayos uniformes nueve variedades, seis de grano blanco, dos de grano azul y una variedad de grano amarillo (Cuadro 1), en el INIFAP Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), ubicado en Texcoco, Estado de México a una altitud de 2 240 m, con una precipitación media de 625 mm. La textura del suelo es franco arenoso. La otra localidad fue en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC UNAM), Campo 4, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la textura del suelo es franco arcilloso, a una altitud de 2 274 m y su precipitación promedio de 609 mm (García, 2004).



Cuadro 1. Variedades de maíz de polinización libre de diferente color de grano evaluadas en primavera-verano de 2016 a 2019, en Valles Altos de México.

Nombre de las variedades	Color de grano
V 80 Turrent, V 62, Centli Puma, VS-334 C, V 23 Huamantla (Carballo y Mendoza, 1981), Cuxi Puma	Blanco
V 54 A (Espinosa <i>et al.</i> , 2010)	Amarillo
Maíz Matlalli Puma, Maíz Texotli Puma	Azul

Los experimentos se establecieron bajo condiciones de punta de riego. Cada ambiente de prueba se conformó por la localidad y por el año en que se estableció el experimento, los ambientes de evaluación fueron nueve en total y se enumeraron de la siguiente manera: A1. FESC UNAM 2016; A2. INIFAP CEVAMEX 2016; A3. FESC UNAM 2017; A4. INIFAP CEVAMEX 2017 A; A5. INIFAP CEVAMEX 2017 B; A6. FESC UNAM 2018; A7. INIFAP CEVAMEX 2018; A8. FESC UNAM 2019; 9. INIFAP CEVAMEX 2019.

Los experimentos se establecieron bajo un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. La parcela experimental constó de un surco de 5 m de largo por 0.8 m de ancho y la densidad de población fue de 45 000 plantas ha⁻¹.

En campo se tomaron las variables días a floración masculina, floración femenina, altura de planta, altura de mazorca. La cosecha se realizó de forma manual. Se determinó el rendimiento y sus componentes como peso volumétrico, peso de 200 granos, longitud de mazorca, porcentaje de materia seca (% MS) y el porcentaje de grano (% G).

El análisis estadístico se realizó en forma factorial, las fuentes de variación fueron ambientes (9), genotipos (9) y la IGA. La comparación de promedios se efectuó con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Para todos los análisis se empleó el paquete estadístico SAS versión 9.1 (SAS Institute Inc, 2004).

Asimismo, se evaluó el comportamiento de las variedades por su estabilidad para el rendimiento de grano, al realizar la IGA con el procedimiento del modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI). Se implementó con las rutinas de programación AMMI descritas por Gauch (2013), bajo el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + e_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + E_{ij}$$

Donde: Y_{ij} = rendimiento del i -ésimo genotipo en el j -ésimo ambiente; μ = media general; g_i = desviaciones medias del i -ésimo genotipo; e_j = desviaciones medias del j -ésimo ambiente; λ_k = raíz cuadrada del valor propio del eje k del análisis de componentes principales (ACP); $\alpha_{ik} \gamma_{jk}$ = son las calificaciones del ACP del genotipo y del ambiente para el eje k del ACP; n = número de ejes del ACP retenidos en el modelo; E_{ij} = error.

Además, se utilizó la herramienta Biplot en la evaluación de variedades de maíz en multiambientes (Yan *et al.*, 2000), el Biplot AMMI1 (un componente principal y el rendimiento) y el Biplot AMMI2 (dos componentes principales).

Resultados y discusión

El análisis de varianza combinado detectó diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$) entre ambientes, entre genotipos (las variedades) y en la IGA, para todas las variables. Fue así como los ambientes fueron diferentes, las variedades fueron contrastantes genéticamente y cada variedad tuvo una respuesta diferencial en cada ambiente de evaluación. La media general del rendimiento fue de 5 090 kg ha⁻¹, en contraste con la registrada para el Estado de México, que es de 1 398 kg ha⁻¹ (SIAP, 2022).

Los coeficientes de variación oscilaron del 1% para la floración masculina y en la floración femenina, hasta el 8.6% para el rendimiento, lo que indica un control aceptable (< 20%) de la variabilidad experimental (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cuadrados medios, significancia estadística y coeficientes de variación del análisis combinado de la evaluación de variedades de polinización libre de maíz de Valles Altos en primavera-verano de 2016 a 2019.

Variables	Fuentes de variación					CV (%)	Media
	Ambiente	Bloque (ambiente)	Genotipo	IGA	Error		
GL	8	27	8	64	216		
Rendimiento	128020525**	406275**	57438376**	4552213**	193423	8.6	5090
Floración masculina	223**	1.4**	281**	18.4**	0.59	1	76
Floración femenina	230**	2**	263**	18.2**	1	1	78
Altura de planta	20497**	68**	7997**	496**	35.1	2.8	210
Altura de mazorca	7007**	21*	2804**	176**	12.7	3.4	104
Peso volumétrico	344**	7.1**	187**	27**	3.1	2.4	72.5
Peso de 200 g	3455**	25**	829**	167**	10.9	6	54.8
Longitud de mazorca	34**	1*	19.1**	2.7**	0.7	5.7	14.5
(%) de materia seca	553**	3.8**	17**	4.9**	1.5	1.4	85.6
(%) de grano	120**	5.6	168.5**	26**	4.5	2.6	82

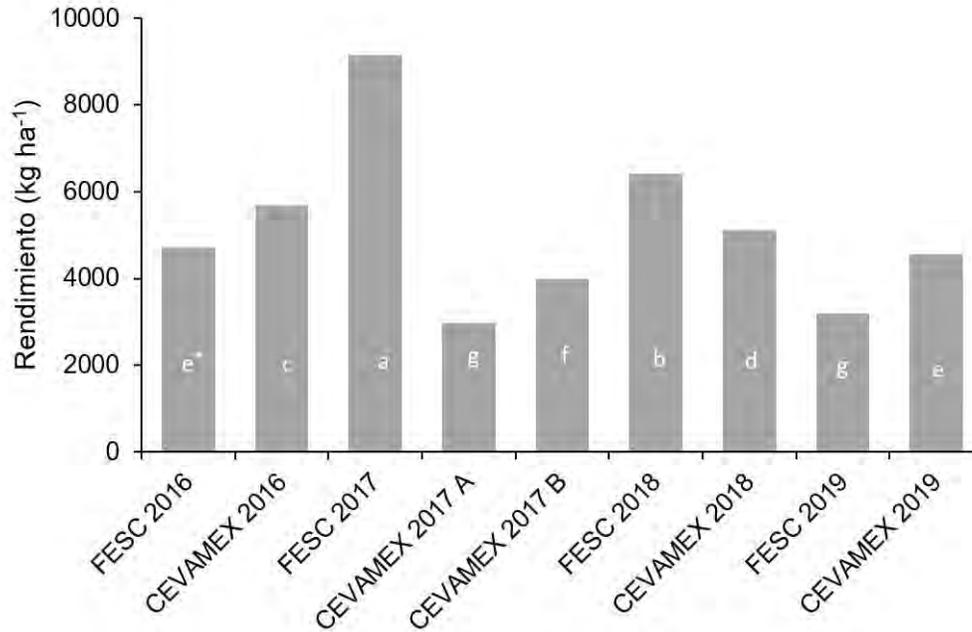
IGA= interacción genotipo por ambiente; GL= grados de libertad; * = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$. CV= coeficiente de variación.

Entre ambientes, la significancia en la expresión del rendimiento y las otras variables se debió al diferencial de precipitación entre los años evaluados, así como la distribución de la precipitación durante el desarrollo del cultivo. Las medias de rendimiento de las variedades en las localidades mostraron que la productividad de grano en la FESC UNAM fue de 5 874 kg ha⁻¹, mayor que en el INIFAP CEVAMEX, con 4 462 kg ha⁻¹, resultados similares se presentaron en evaluaciones de López *et al.* (2017).

En la FESC UNAM el rendimiento medio de grano fue 31.6% mayor que en el INIFAP CEVAMEX; el ambiente de la FESC UNAM 2017 tuvo el mejor rendimiento de grano con 9 163 kg ha⁻¹, diferente significativamente a las otras localidades (Figura 1). El rendimiento más bajo correspondió a INIFAP CEVAMEX 2017 A con 2965 kg ha⁻¹, este último experimento resultó afectado por la sequía y granizadas que se presentaron en la región. El experimento en INIFAP CEVAMEX 2017 B, disminuyó su rendimiento de grano a causa de las granizadas en un 56.4%, en comparación al ambiente FESC UNAM 2017.



Figura 1. Comparación de medias entre ambientes en el rendimiento de grano, considerando la media de nueve variedades de maíz de polinización libre evaluadas de 2016 a 2019 en Valles Altos del Centro de México. *Letras iguales son estadísticamente iguales, letras diferentes son estadísticamente diferentes, con una diferencia mínima significativa de 343 kg.



Entre variedades, el genotipo Maíz Texotli Puma tuvo el mejor rendimiento medio de grano con 6 491 kg ha⁻¹, seguido del Maíz Matlalli Puma con 6 455 kg ha⁻¹ y Cuxi Puma con 5 998 kg ha⁻¹. La variedad de grano blanco V 80 Turrent tuvo un rendimiento medio de 5 706 kg ha⁻¹, 12.1% menos que Maíz Texotli Puma. Los resultados obtenidos señalan que los materiales podrían competir en el mercado mexicano de maíz grano, al superar a la variedad de grano amarillo V 54 A que obtuvo un rendimiento de 5 383 kg ha⁻¹. La variedad V-62 tuvo el rendimiento más bajo, con 3 178 kg ha⁻¹ (Cuadro 3).

Cuadro 3. Comparación de medias entre variedades de polinización libre de maíz evaluadas de 2016 a 2019 en Valles Altos de México.

Genotipos	Variables									
	REND	FM	FF	AP	AM	PV	P200G	LM	%MS	%GR
Maíz Texotli Puma	6491 a	78 b	80 b	224 a	105 bc	71.6 d	61 a	15 b	85 b	84 ab
Maíz Matlalli Puma Azul	6455 a	80 a	82 a	223 a	113 a	73.4 bc	61 a	14 c	84 c	81 de
Maíz Cuxi Puma	5998 a	76 c	78 c	216 b	107 b	73.4 bc	55 b	16 a	85 b	82 bc
Maíz V 80 Turrent	5706 bc	76 c	78 c	213 b	103 c	72.9 c	56 b	15 b	86 a	82 bc
Maíz V 54 A	5383 c	73 f	75 e	216 b	107 b	76.1 a	57 b	15 b	85 b	83 b
Maíz V 23 Huamantla	4893 d	74 e	76 de	223 a	116 a	68.8 e	55 b	14 c	86 a	86 a

Genotipos	Variables									
	REND	FM	FF	AP	AM	PV	P200G	LM	%MS	%GR
VS-334 C	4520 e	80 a	82 a	201 c	100 c	71 d	50 c	14 c	85 b	79 f
Centli	3185 f	74 e	76 d	191 d	91 d	71.5 d	47 d	15 b	86 a	80 cd
Puma										
V-62	3178 f	75 d	76 d	183 e	90 d	74.8 b	50 c	13 d	86 a	81 d
DMS	325	1	1	4	3	1.3	2	1	1	2

REND= rendimiento de grano; FM= floración masculina; FF= floración femenina; AP= altura de planta; AM= altura de mazorca; PV= peso volumétrico; P200G= peso de 200 granos; LM= longitud de mazorca; HM= hileras por mazorca; GH= granos por hilera; GM= granos por mazorca; %MS= porcentaje de materia seca; %GR= porcentaje de grano; DMS= diferencia mínima significativa.

Las variedades Maíz Matlalli Puma y VS-334 C, presentaron las floraciones masculinas más tardías con 81 días y 82 días a floración femenina, respectivamente. Mientras que la variedad V 54 A expresó las floraciones masculinas con mayor precocidad con 73 y 75 días a floración femenina. La altura de planta varió de 183 cm en la variedad V 62, hasta 224 cm en la variedad Maíz Texotli Puma. La altura de mazorca osciló de 90 cm en la variedad V 62, hasta 116 cm en la variedad V 23 Huamantla (Cuadro 3).

Para el peso volumétrico entre variedades, los valores oscilaron de los 68.8 kg hl⁻¹ para la variedad V 23 Huamantla, hasta los 76.1 kg hl⁻¹ para la variedad V 54 A, la media general fue de 72.5 kg hl⁻¹, valor ligeramente bajo de acuerdo con la norma NMX 034 de 2002 (DOF, 2002), para maíces destinados a la nixtamalización (74 kg hl⁻¹). Sólo la variedad V 62 tuvo un peso aceptable (74.8 kg hl⁻¹), con base a la norma. El porcentaje de grano varió del 79% en la variedad VS-334 C, hasta el 86% en la variedad V 23 Huamantla. Las localidades más productivas se asociaron a porcentajes de grano más altos (Cuadro 3).

El análisis de varianza del modelo AMMI para rendimiento de grano detectó diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre ambientes, entre genotipos, y en la interacción genotipo por ambiente (IGA), lo que justifica el uso del procedimiento AMMI en el estudio. La aportación total a la suma de cuadrados por parte del factor ambiental fue de 53.03%, los efectos genotípicos aportaron 25.2%, y la IGA contribuyó con 15.9% de la variación total, resultados similares a los obtenidos por Vélez *et al.* (2018); Mushayi *et al.* (2020).

Quienes reportaron el dominio de los efectos ambientales como fuente de variación en multi ambientes, lo cual indica que el sistema agrícola, el suelo, los fertilizantes, las variedades, y los factores climáticos tienen diferentes efectos en el rendimiento del maíz (Li *et al.*, 2019). Con ayuda de la prueba de Gollob (1968), se identificó alta significancia ($p \neq 0.01$) en los componentes principales y en los residuales.

El CP1 explicó el 49.6% de la variabilidad de la IGA, el CP2 aportó su 24.3%, para sumar un total de 73.9%, resultados que concuerdan con lo reportado por Gauch (2013), quien señaló que el procedimiento AMMI es ampliamente predicho por los dos primeros componentes principales (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de varianza AMMI para rendimiento de grano de nueve variedades de maíz de polinización libre evaluados en primavera-verano de 2016 a 2019.

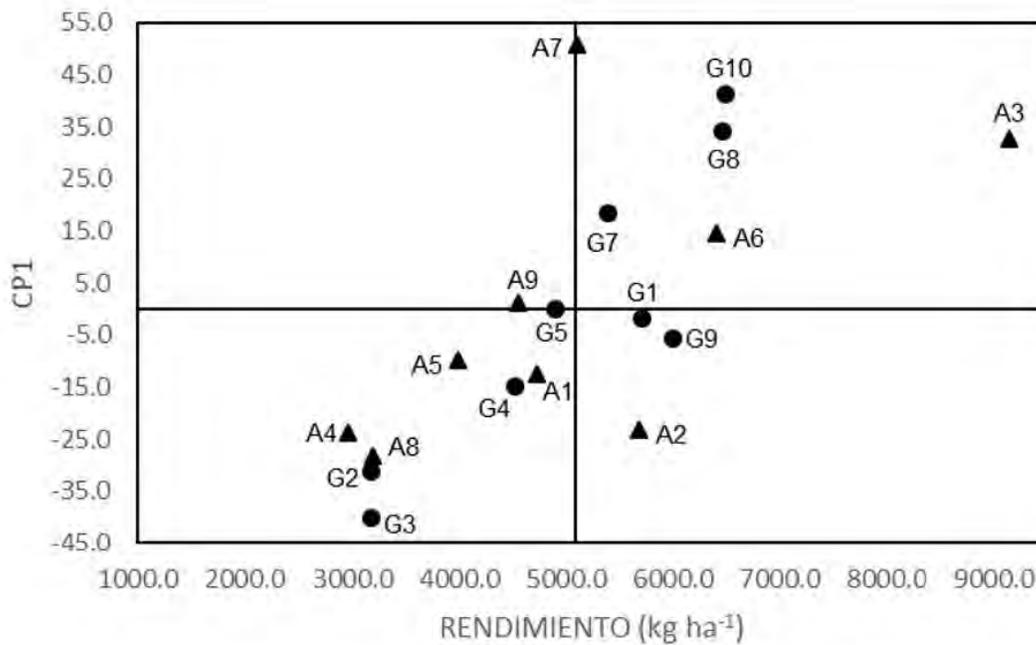
Fuente de variación	GL	SC	CM	%SC
Bloques	3	255996	85332	0.01 [†]
Ambientes	8	1024164094	128020512 ^{**}	53.03 [†]
Genotipos	8	459505697	57438212 ^{**}	25.2 [†]
Interacción GE	64	291342455	4552226 ^{**}	15.9 [†]
CP1	15	144391335	9626089 ^{**}	49.6
CP2	13	70690496	5437730 ^{**}	24.3

Fuente de variación	GL	SC	CM	%SC
Residuales	35	75372384	9182887.5**	25.8
Error	240	52493013	218721	2.9 [†]
Total	323	1827761255		

GL= grados de libertad; SC= suma de cuadrados; CM= cuadrados medios; %SC= porcentaje de la suma de cuadrados; CP1= componente principal 1; CP2= componente principal 2, [†]= respecto de la SC del total; * = $p \leq 0.05$; ** = $p \leq 0.01$.

En el estudio de la IGA, el análisis con el Biplot AMMI1 identificó que los genotipos con efectos mayores en la IGA fueron Centli Puma (G3), V-62 (G2) y Maíz Texotli Puma (G10), por sus altos valores de su CP1. Las variedades que tuvieron un efecto menor de la IGA debido a sus valores de CP1 muy cercano a cero (Zobel *et al.*, 1988), fueron V 80 Turrent (G1), V 23 Huamantla (G5) y Cuxi Puma (G9); es decir, contribuyeron en menor magnitud en la IGA y se consideraron estables (Figura 2).

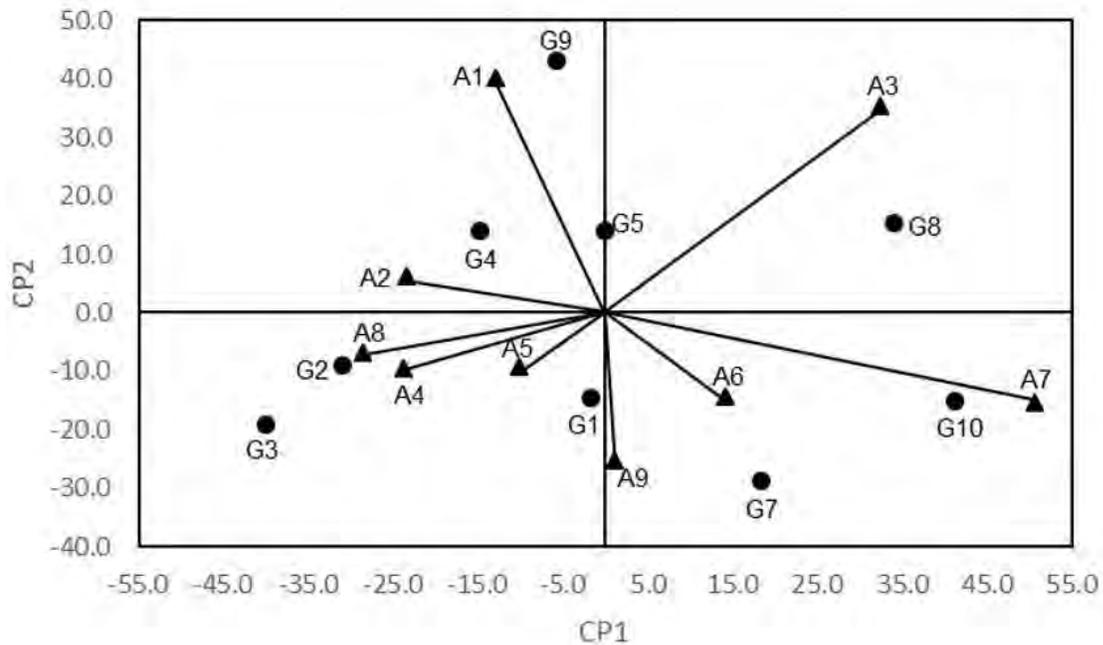
Figura 2. Biplot AMMI1, CP1 y el rendimiento en kg ha^{-1} de nueve variedades de maíz de polinización libre evaluadas en nueve ambientes.



En la Figura 3, Biplot AMMI2, se muestra que las variedades con mayor estabilidad en el rendimiento de grano y de amplia adaptación fueron V 80 Turrent (G1) y V 23 Huamantla (G5), y se ubicaron más cerca al origen en el gráfico biplot; por el contrario, las variedades más alejadas del origen mostraron mayor variación en su comportamiento (Yan *et al.*, 2000), como Cuxi Puma (G9), Maíz Texotli Puma (G10), V 54 A (G7) y Centli Puma (3).



Figura 3. Biplot AMMI2, CP 1 y CP2 de nueve variedades de maíz de polinización libre evaluadas en nueve ambientes.



Conclusiones

Se determinó que las variedades de maíz azul de polinización libre Maíz Texotli Puma y Maíz Matlalli Puma, tuvieron los mejores rendimientos de grano y mostraron excelente comportamiento agronómico en los ambientes de evaluación de 2016 a 2019. Las variedades de maíz de polinización libre V 80 Turrent y V 23 Huamantla presentaron mejor estabilidad en el rendimiento de grano y dado que la variedad V 80 Turrent es una variedad recientemente generada, se recomienda su liberación comercial por su comportamiento agronómico y su potencial productivo.

Agradecimientos

Se agradece y reconoce la dedicación, vocación, calidad humana, ética, amistad, compañerismo, vida completa entregada a la investigación en maíz del MC. Juan Virgen Vargast, en más de 30 años su valiosa colaboración constante permitió la generación de innumerables variedades de maíz en los Valles Altos de México, como es el caso de V 80 (Turrent), su ausencia es irreparable e insustituible, el INIFAP y México están de luto sin él.

Bibliografía

- 1 Carballo, C. A. y Mendoza, R. M. 1981. V 23 Huamantla nueva variedad temporal de maíz para el estado de Tlaxcala. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIFAP)-Centro de Investigaciones Agrícolas de la Mesa Central. Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX). Folleto técnico núm. 6. Chapingo, Estado de México. 6 p.



- 2 DOF. 2002. Diario Oficial de la Federación. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-cereales. Parte I: maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado-especificaciones y métodos de prueba.
- 3 DOF. 2023. Diario Oficial de la Federación. Decreto por el que se establecen diversas acciones en materia de glifosato y maíz genéticamente modificado.
- 4 Espinosa, C. A.; Tadeo, R. M.; Gómez, M. N.; Sierra, M. M.; Virgen, V. J.; Palafox, C. A.; Caballero, H. F.; Vázquez, C. G.; Rodríguez, M. F.; Valdivia, B. R. 2010. 'V-54 A', nueva variedad de maíz de grano amarillo para siembras de temporal retrasado en los Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 1(4):677-680.
- 5 Espinosa, C. A.; Tadeo, R. M.; Gómez, M. N.; Sierra, M. M.; Virgen, V. J.; Palafox, C. A.; Caballero, H. F.; Vázquez, C. G.; Rodríguez, M. F.; Valdivia, B. R.; Arteaga, E. I.; González, R. I. 2011. 'V-55 A', variedad de maíz de grano amarillo para los Valles Altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 34(2):149-150.
- 6 García, D. M. E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México. 246 p.
- 7 Gauch, Jr. H. G. 2013. A simple protocol for AMMI analysis of yield trials. *Crop Science*. 37(5):311-326. [10.2135/cropsci2013.04.0241](https://doi.org/10.2135/cropsci2013.04.0241).
- 8 Gollob, H. F. 1968. A statistical model which combines features of factor analytic e analysis of variances techniques. *Psychometrika*. 33:73-115. <https://doi.org/10.1007/BF02289676>.
- 9 Li, S.; Lei, Y. D.; Zhang, Y. Y.; Liu, J. G.; Shi, X. Y.; Jia, H.; Wang, C.; Chen, F. and Chu, Q. Q. 2019. Rational trade-offs between yield increase and fertilizer inputs are essential for sustainable intensification: a case study in wheat-maize cropping systems in China. *Science of the Total Environment*. 679:328-336. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.085>.
- 10 López, L. C.; Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; García, Z. J.; Benítez, R. I.; Vázquez, C. M. y Carrillo, S. J. 2017. Productividad de cruza simples de maíz con calidad de proteína en Valles Altos de México. México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* . 8(3):559-570. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i3.31>.
- 11 Mushayi, M.; Shimelis, H.; Derera, J.; Shayanowako, A. I. T. and Mathew, I. 2020. Multi-environmental evaluation of maize hybrids developed from tropical and temperate lines. *Euphytica*. 216(5):84-90. <https://doi.org/10.1007/s10681-020-02618-6>.
- 12 SAS Institute Inc. 2004. SAS/STAT® 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA.
- 13 SIAP. 2022. Panorama Agroalimentario 2022. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 94 p.
- 14 Vélez-Torres, M.; García-Zavala, J. J.; Lobato-Ortiz, R.; Benítez-Riquelme, I.; López-Reynoso, J. J.; Mejía-Contreras, J. A. y Esquivel-Esquivel, G. 2018. Estabilidad del rendimiento de cruza dialélicas entre líneas de maíz de alta y de baja aptitud combinatoria general. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 41(2):167-175. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.2.167-175>.
- 15 Wang, S. Q.; Guo, Q.; Wang, S. D. and Chen, Z. Y. 2020. Selecting the superior genotype of summer maize hybrids in mega-environments using AMMI model and GGE biplot in China. *Applied Ecology and Environmental Reserch*. 18(2):3593-3614.
- 16 Wolde, L.; Keno, T.; Tadesse, B.; Bogale, G. and Abebe, B. 2018. Mega-environment targeting of maize varieties using AMMI and GGE-biplot analysis in Ethiopia. *Ethiopian Journal of Agricultural Sciences*. 28(2):65-84.
- 17 Yan, W.; Hunt, L. A.; Sheng, Q. and Szlavnic, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science* . 40(3):597-605. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x>.
- 18 Zobel, R. W.; Wright, M. J. and Gauch, H. G. Jr. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*. 80(3):388-393. <https://doi.org/10.2134/agronj1988.00021962008000030002x>.

Productividad y estabilidad de variedades de maíz de polinización libre en Valles Altos de México

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 July 2024
Date accepted: 01 September 2024
Publication date: 17 September 2024
Publication date: Aug-Sep 2024
Volume: 15
Issue: 5
Electronic Location Identifier: e3032
DOI: 10.29312/remexca.v15i6.3032

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

Zea mays L.

estabilidad

productividad

variedades de polinización libre

Counts

Figures: 3

Tables: 4

Equations: 2

References: 18

Pages: 0